(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2022-17675
(P2022-17675A)
(43)公開日　令和4年1月26日(2022.1.26)

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
Ｂ２５Ｊ　17/00	*(2006.01)*	Ｂ２５Ｊ　17/00	Ｚ	３Ｃ７０７

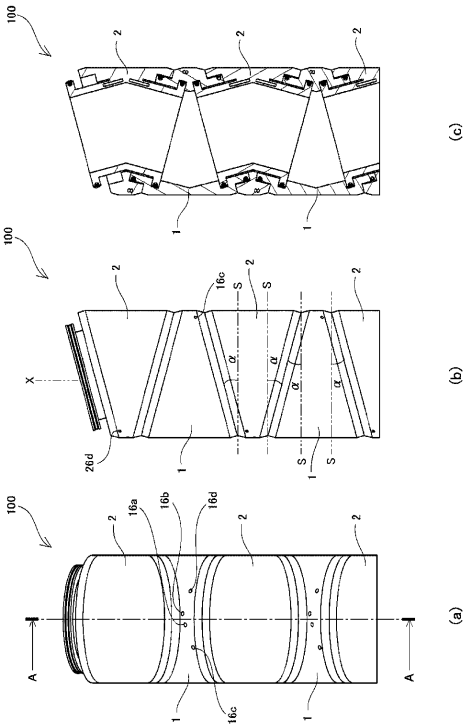
審査請求 未請求　請求項の数 10　ＯＬ　（全 29 頁）

(21)出願番号　特願2020-120359(P2020-120359)
(22)出願日　令和2年7月14日(2020.7.14)

(71)出願人　504165591
国立大学法人岩手大学
岩手県盛岡市上田三丁目１８番８号
(74)代理人　100108833
弁理士　早川　裕司
(74)代理人　100162156
弁理士　村雨　圭介
(72)発明者　ラファエル　フェリン
岩手県盛岡市上田三丁目１８番８号　国立大学法人岩手大学内

Ｆターム(参考)　3C707 BS19　BS20　CU05　CY25　CY26
CY27　CY36　CY37　HS27　HT04

(54)【発明の名称】ロボットアーム

(57)【要約】
【課題】２つの第一アーム部が、その間に設けられた第二アーム部に対して相対的に連動回転することで、ロボットアームの曲げが達成されるので、一つのアクチュエータでアームの曲げを制御可能であり、アーム全体の軽量化を実現可能であるとともに、ヒューマノイドロボットに好適なロボットアームを提供する。
【解決手段】本発明のロボットアームは、少なくとも２つの第一アーム部と、少なくとも１つの第二アーム部と、２つの第一アーム部を連動回転させる第一関節機構とを備え、第一アーム部と第二アーム部が交互に直列に設けられており、第一関節機構は、１つの第一アーム部とこれに最も近い第一アーム部が同じ方向及び回転角で回転するように、２つの第一アーム部を連結する。
【選択図】図１

【特許請求の範囲】
【請求項１】
　少なくとも２つの第一アーム部と、
　少なくとも１つの第二アーム部と、
　２つの前記第一アーム部を連動回転させる第一関節機構とを備え、
　前記第一アーム部と前記第二アーム部が交互に直列に設けられており、
　前記第一アーム部は、円柱状であって、両端部が軸線に垂直な面に対して互いに対向する方向に角度αで傾斜しており、
　前記第二アーム部は、円柱状であって、両端部が軸線に垂直な面に対して互いに対向する方向に角度αで傾斜しており、
　前記第一関節機構は、１つの前記第一アーム部とこれに最も近い前記第一アーム部が同じ方向及び回転角で回転するように、２つの前記第一アーム部を連結するロボットアーム。
【請求項２】
　複数の第一アーム部と、
　複数の第二アーム部と、
　前記複数の第一アーム部を連動回転させる複数の第一関節機構と、
　前記複数の第二アーム部を連動回転させる複数の第二関節機構とを備え、
　前記複数の第一アーム部と前記複数の第二アーム部が交互に直列に設けられており、
　前記第二関節機構は、１つの前記第二アーム部とこれに最も近い前記第二アーム部が同じ方向及び回転角で回転するように、２つの前記第二アーム部を連結する請求項１に記載のロボットアーム。
【請求項３】
　前記第一関節機構は、１つの前記第一アーム部とこれに最も近い前記第一アーム部とを互いに連結する２本のワイヤにより構成される請求項１に記載のロボットアーム。
【請求項４】
　前記第一関節機構は、１つの前記第一アーム部とこれに最も近い前記第一アーム部とを互いに連結する２本のワイヤにより構成され、
　前記第二関節機構は、１つの前記第二アーム部とこれに最も近い前記第二アーム部とを互いに連結する２本のワイヤにより構成される請求項２に記載のロボットアーム。
【請求項５】
　前記第一アーム部は、上端部に前記ワイヤを収容可能な周方向に延びる第一上部溝と、下端部に前記ワイヤを収容可能な周方向に延びる第一下部溝とを有し、
　前記第二アーム部は、上端部に前記ワイヤを収容可能な周方向に延びる第二上部溝と、下端部に前記ワイヤを収容可能な周方向に延びる第二下部溝とを有し、
　前記２本のワイヤの一方を第一ワイヤ、他方を第二ワイヤとするとき、
　前記複数の第一アーム部において、
　前記第一ワイヤは、１つの前記第一アーム部の前記第一上部溝を一方向に周回してから、前記１つの第一アーム部に最も近い前記第一アーム部の第一下部溝を一方向に周回するように設けられ、
　前記第二ワイヤは、１つの前記第一アーム部の前記第一上部溝を他方向に周回してから、前記１つの第一アーム部に最も近い前記第一アーム部の第一下部溝を他方向に周回するように設けられ、
　前記複数の第二アーム部において、
　前記第一ワイヤは、１つの前記第二アーム部の前記第二上部溝を一方向に周回してから、前記１つの第二アーム部に最も近い前記第二アーム部の第二下部溝を一方向に周回するように設けられ、
　前記第二ワイヤは、１つの前記第二アーム部の前記第二上部溝を他方向に周回してから、前記１つの第二アーム部に最も近い前記第二アーム部の第二下部溝を他方向に周回するように設けられる請求項４に記載のロボットアーム。

【請求項６】
　前記第一関節機構は、１つの前記第一アーム部とこれに最も近い前記第一アーム部とを互いに連結する２本のワイヤと、前記２本のワイヤそれぞれの移動をガイドする２つのアイドルプーリとにより構成される請求項１に記載のロボットアーム。
【請求項７】
　前記第一関節機構は、１つの前記第一アーム部とこれに最も近い前記第一アーム部とを互いに連結する２本のワイヤと、前記２本のワイヤそれぞれの移動をガイドする２つのアイドルプーリとにより構成され、
　前記第二関節機構は、１つの前記第二アーム部とこれに最も近い前記第二アーム部とを互いに連結する２本のワイヤと、前記２本のワイヤそれぞれの移動をガイドする２つのアイドルプーリとにより構成される請求項２に記載のロボットアーム。
【請求項８】
　前記第一アーム部及び第二アーム部がいずれも、軸中心に中空部を有する筒形状である請求項１から請求項７のいずれか１項に記載のロボットアーム。
【請求項９】
　前記第一アーム部は、上記両端部に摺動面を有し、
　前記第二アーム部は、上記両端部に前記第一アーム部の摺動面と回転摺動する摺動面を有する請求項１から請求項８のいずれか１項に記載のロボットアーム。
【請求項１０】
　前記第一アーム部及び第二アーム部が剛体である請求項１から請求項９のいずれか１項に記載のロボットアーム。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
　本発明は回転関節を備えるロボットアームに関し、詳細には、アームを構成する複数のアーム部に適合した回転関節を備えるロボットアームに関する。
【背景技術】
【０００２】
　従来、軸線に対して傾斜した回転軸を有する回転関節を備えるロボットアームやマニプレータが提案されている（例えば、特許文献１から特許文献３）。このようなロボットアームやマニプレータは、アームを構成する複数のアーム部材が、アームの軸線に対して傾斜した回転軸回りに回転駆動されることにより回転動作する構造であるため、回転運動の制御のみで正確な位置決めが可能であるとともに、効率的にトルクを伝達することができるという利点がある。
【０００３】
　上述のようなロボットアームやマニプレータは、アームを構成する複数のアーム部材それぞれについて、回転を駆動するための回転駆動モータ（アクチュエータ）が必要である。そのため、従来のロボットアームでは、構造が複雑であるとともに、アーム自体の重量が増大するので、高負荷作業が困難となるといった問題がある。また、上述のようなロボットアームやマニプレータは、産業用ロボットとしての使用を主目的としているため、ヒューマノイドロボットに適用すると、アームの曲げが実現されている間や実現された後に、隣接する２つのアーム部材の間に生じる隙間や凹凸部分に、ユーザの指が挟まったり引っ掛かったりするおそれがある。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００４】
【特許文献１】特開昭６２－１４８１８２号公報
【特許文献２】特開２００１－１３８２７９号公報
【特許文献３】特開２００４－１４８４４９号公報
【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
本発明は上述のような事情に基づいてなされたものであり、構造が簡易でありながら、一つのアクチュエータでアームの曲げを制御可能であることで、アーム全体の軽量化を実現可能であるとともに、ヒューマノイドロボットに好適なロボットアームを提供することを目的とする。
【課題を解決するための手段】
【０００６】
上記課題を解決するために、本発明は、少なくとも２つの第一アーム部と、少なくとも１つの第二アーム部と、２つの前記第一アーム部を連動回転させる第一関節機構とを備え、前記第一アーム部と前記第二アーム部が交互に直列に設けられており、前記第一アーム部は、円柱状であって、両端部が軸線に垂直な面に対して互いに対向する方向に角度αで傾斜しており、前記第二アーム部は、円柱状であって、両端部が軸線に垂直な面に対して互いに対向する方向に角度αで傾斜しており、前記第一関節機構は、１つの前記第一アーム部とこれに最も近い前記第一アーム部が同じ方向及び回転角で回転するように、２つの前記第一アーム部を連結するロボットアームを提供する（発明１）。
【０００７】
かかる発明（発明１）によれば、２つの第一アーム部が、その間に設けられた第二アーム部に対して相対的に連動回転することで、ロボットアームの曲げが達成されるので、一つのアクチュエータでアームの曲げを制御可能であり、アーム全体の軽量化を実現可能であるとともに、ヒューマノイドロボットに好適なロボットアームを提供することができる。
【０００８】
上記発明（発明１）においては、複数の第一アーム部と、複数の第二アーム部と、前記複数の第一アーム部を連動回転させる複数の第一関節機構と、前記複数の第二アーム部を連動回転させる複数の第二関節機構とを備え、前記複数の第一アーム部と前記複数の第二アーム部が交互に直列に設けられており、前記第二関節機構は、１つの前記第二アーム部とこれに最も近い前記第二アーム部が同じ方向及び回転角で回転するように、２つの前記第二アーム部を連結することが好ましい（発明２）。
【０００９】
かかる発明（発明２）によれば、ロボットアームの曲げが、複数の第一アーム部と複数の第二アーム部とによって達成されるので、ロボットアームのより複雑な動きを実現することができる。
【００１０】
上記発明（発明１）においては、前記第一関節機構は、１つの前記第一アーム部とこれに最も近い前記第一アーム部とを互いに連結する２本のワイヤにより構成されていてもよい（発明３）。
【００１１】
かかる発明（発明３）によれば、第一アーム部の回転がワイヤで調整されるので、歯車で回転が調整される場合比べて、アーム全体の軽量化が実現できるとともに、コストを軽減することができる。
【００１２】
上記発明（発明２）においては、前記第一関節機構は、１つの前記第一アーム部とこれに最も近い前記第一アーム部とを互いに連結する２本のワイヤにより構成され、前記第二関節機構は、１つの前記第二アーム部とこれに最も近い前記第二アーム部とを互いに連結する２本のワイヤにより構成されていてもよい（発明４）。
【００１３】
かかる発明（発明４）によれば、第一アーム部及び第二アーム部の回転がワイヤで調整されるので、歯車で回転が調整される場合比べて、アーム全体の軽量化が実現できるとともに、コストを軽減することができる。

【００１４】
　上記発明（発明４）においては、前記第一アーム部は、上端部に前記ワイヤを収容可能な周方向に延びる第一上部溝と、下端部に前記ワイヤを収容可能な周方向に延びる第一下部溝とを有し、前記第二アーム部は、上端部に前記ワイヤを収容可能な周方向に延びる第二上部溝と、下端部に前記ワイヤを収容可能な周方向に延びる第二下部溝とを有し、前記２本のワイヤの一方を第一ワイヤ、他方を第二ワイヤとするとき、前記複数の第一アーム部において、前記第一ワイヤは、１つの前記第一アーム部の前記第一上部溝を一方向に周回してから、前記１つの第一アーム部に最も近い前記第一アーム部の第一下部溝を一方向に周回するように設けられ、前記第二ワイヤは、１つの前記第一アーム部の前記第一上部溝を他方向に周回してから、前記１つの第一アーム部に最も近い前記第一アーム部の第一下部溝を他方向に周回するように設けられ、前記複数の第二アーム部において、前記第一ワイヤは、１つの前記第二アーム部の前記第二上部溝を一方向に周回してから、前記１つの第二アーム部に最も近い前記第二アーム部の第二下部溝を一方向に周回するように設けられ、前記第二ワイヤは、１つの前記第二アーム部の前記第二上部溝を他方向に周回してから、前記１つの第二アーム部に最も近い前記第二アーム部の第二下部溝を他方向に周回するように設けられることが好ましい（発明５）。

【００１５】
　かかる発明（発明５）によれば、第一アーム部が一方向に回転すると、２本のワイヤの一方が、この第一アーム部に最も近い第一アーム部を一方向に引っ張るので、複数の第一アーム部はすべて同じ方向（一方向）に回転することになり、第一アーム部が他方向に回転すると、２本のワイヤの他方が、この第一アーム部に最も近い第一アーム部を他方向に引っ張るので、複数の第一アーム部はすべて同じ方向（他方向）に回転することになる。同様に、第二アーム部が一方向に回転すると、２本のワイヤの一方が、この第二アーム部に最も近い第二アーム部を一方向に引っ張るので、複数の第二アーム部はすべて同じ方向（一方向）に回転することになり、第二アーム部が他方向に回転すると、２本のワイヤの他方が、この第二アーム部に最も近い第二アーム部を他方向に引っ張るので、複数の第二アーム部はすべて同じ方向（他方向）に回転することになる。したがって、関節機構が上述のような構成を有することにより、第一アーム部又は第二アーム部の回転を容易に調整することができる。

【００１６】
　上記発明（発明１）においては、前記第一関節機構は、１つの前記第一アーム部とこれに最も近い前記第一アーム部とを互いに連結する２本のワイヤと、前記２本のワイヤそれぞれの移動をガイドする２つのアイドルプーリとにより構成されていてもよい（発明６）。

【００１７】
　かかる発明（発明６）によれば、第一関節機構がワイヤとアイドルプーリとにより構成されるので、アーム全体の軽量化が実現できるとともに、コストを軽減することができる。

【００１８】
　上記発明（発明２）においては、前記第一関節機構は、１つの前記第一アーム部とこれに最も近い前記第一アーム部とを互いに連結する２本のワイヤと、前記２本のワイヤそれぞれの移動をガイドする２つのアイドルプーリとにより構成され、前記第二関節機構は、１つの前記第二アーム部とこれに最も近い前記第二アーム部とを互いに連結する２本のワイヤと、前記２本のワイヤそれぞれの移動をガイドする２つのアイドルプーリとにより構成されていてもよい（発明７）。

【００１９】
　かかる発明（発明７）によれば、第一関節機構及び第二関節機構がワイヤとアイドルプーリとにより構成されるので、アーム全体の軽量化が実現できるとともに、コストを軽減することができる。

【００２０】

上記発明（発明１－７）においては、前記第一アーム部及び第二アーム部がいずれも、軸中心に中空部を有する筒形状であることが好ましい（発明８）。

【００２１】

かかる発明（発明８）によれば、トルクを効率的に伝達することができるため、第一アーム部及び第二アーム部の軽量化が実現でき、もって、アーム全体の重量を減少させることができる。また、アーム全体を通して連続する中空構造が形成されるので、中空内部にケーブル等の部品を通過させることができる。

【００２２】

上記発明（発明１－８）においては、前記第一アーム部は、上記両端部に摺動面を有し、前記第二アーム部は、上記両端部に前記第一アーム部の摺動面と回転摺動する摺動面を有することが好ましい（発明９）。

【００２３】

かかる発明（発明９）によれば、アームの表面が連続性を有するため、アームの曲げが実現されている間に外部から認識される動作は、第二アーム部に対する相対的な第一アーム部の回転摺動だけであって、第一アーム部と第二アーム部との間に隙間や凹凸部分が生じることがない。そのため、ヒューマノイドロボットに適用した場合に、ユーザの指が隙間に挟まったり引っ掛かったりするのを防ぐことができる。また、アームを表皮材や衣服で覆った場合でも、素材が隙間に挟まったり凹凸部分に引っ掛かったりするのを防ぐことができる。加えて、回転動作中であっても第一アーム部と第二アーム部との間に隙間や凹凸部分が生じず、アーム表面が連続性を有するため、水中、高圧環境、クリーンルーム、放射性環境等、外部とアームとの間に堅固な障壁が必要な環境においても好適に使用することができる。

【００２４】

上記発明（発明１－９）においては、前記第一アーム部及び第二アーム部が剛体であることが好ましい（発明１０）。

【００２５】

かかる発明（発明１０）によれば、トルクをより効率的に伝達することができるため、第一アーム部及び第二アーム部の軽量化を実現しつつ、強度を確保することができる。また、第一アーム部及び第二アーム部が剛体であることにより、水中、高圧環境、クリーンルーム、放射性環境等、外部とアームとの間に堅固な障壁が必要な環境において、特に好適に使用することができる。

【発明の効果】

【００２６】

本発明のロボットアームによれば、２つの第一アーム部が、その間に設けられた第二アーム部に対して相対的に連動回転することで、ロボットアームの曲げが達成されるので、一つのアクチュエータでアームの曲げを制御可能であり、アーム全体の軽量化を実現可能であるとともに、ヒューマノイドロボットに好適なロボットアームを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【００２７】

【図１】本発明の第一実施形態に係るロボットアームの直線状態を示す模式図であって、（ａ）は正面図、（ｂ）は側面図、（ｃ）は（ａ）のＡ－Ａ断面図である。

【図２】図１のロボットアームの第一アーム部の模式図であって、（ａ）は正面図、（ｂ）は側面図、（ｃ）は（ａ）のＢ－Ｂ断面図、（ｄ）は平面図である。

【図３】図１のロボットアームの第二アーム部の模式図であって、（ａ）は正面図、（ｂ）は側面図、（ｃ）は（ａ）のＣ－Ｃ断面図、（ｄ）は平面図である。

【図４】図１のロボットアームの第一アーム部について、第一関節機構のワイヤの設け方を示す模式的斜視図である。

【図５】図１のロボットアームの第二アーム部について、第二関節機構のワイヤの設け方を示す模式的斜視図である。

【図６】図１のロボットアームの第一アーム部の第一関節機構及び第二アーム部の第二関節機構におけるワイヤの動きを示す模式的説明図である。
【図７】図１のロボットアームの動作を示す模式的斜視図である。
【図８】本発明の第二実施形態に係るロボットアームの第一アーム部について、第一関節機構のワイヤ及びアイドルプーリの設け方を示す模式図であって、（ａ）は部分側面図、（ｂ）は部分斜視図である。
【図９】本発明の第二実施形態に係るロボットアームの第二アーム部について、第二関節機構のワイヤ及びアイドルプーリの設け方を示す模式図であって、（ａ）は部分側面図、（ｂ）は部分斜視図である。
【図１０】本発明の第三実施形態に係るロボットアームの第一アーム部の模式的斜視図であって、（ａ）は第一保護カバーがない状態、（ｂ）は第一保護カバーがある状態を示している。
【図１１】本発明の第三実施形態に係るロボットアームの第二アーム部の模式的斜視図であって、（ａ）は第二保護カバーがない状態、（ｂ）は第二保護カバーがある状態を示している。
【図１２】本発明の第三実施形態に係るロボットアームの保護カバーがない状態における模式図であって、（ａ）は側面図、（ｂ）は斜視図である。
【図１３】本発明の第三実施形態に係るロボットアームの模式図であって、（ａ）は側面図、（ｂ）は斜視図である。
【発明を実施するための形態】
【００２８】
　以下、本発明のロボットアームの実施形態について、適宜図面を参照して説明する。以下に説明する実施形態は、本発明の理解を容易にするためのものであって、何ら本発明を限定するものではない。本実施形態では、便宜上、図１に示すように、ロボットアームが直線状態にある場合における上側を「上」、下側を「下」と呼ぶことがある。
【００２９】
〔第一実施形態〕
　図１は本発明の、第一実施形態に係るロボットアームの直線状態を示す模式図であって、（ａ）は正面図、（ｂ）は側面図、（ｃ）は（ａ）のＡ－Ａ断面図である。
【００３０】
〈ロボットアーム〉
　本実施形態に係るロボットアーム１００は、図１に示すように表面が連続性を有する円柱状を呈し、複数の第一アーム部１、複数の第二アーム部２、複数の第一関節機構３（図１では不図示）、複数の第二関節機構４（図１では不図示）を主に備える。複数の第一アーム部１と複数の第二アーム部２は、図１に示すように、交互に直列に配置されており、軸方向の両端部が、軸線Ｘに垂直な面Ｓに対して互いに対向する方向に角度αで傾斜している。なお、図１においては、説明を容易にするために、ロボットアーム１００は、第一アーム部１を２つ、第二アーム部２を３つ備えるものとして示されており、最下方に位置する第二アーム部２は、軸線に垂直な面で１／２に切断された状態で示されている。
【００３１】
［第一アーム部］
　図２に示すように、本実施形態において、第一アーム部１は剛体であって、軸中心に中空部１１を有する筒形状である。第一アーム部１は、軸方向の上端部１２に、軸線Ｘに垂直な面Ｓに対して上方向に角度αで傾斜する環状の第一摺動面１２１を有し、軸方向の下端部１３に、軸線Ｘに垂直な面Ｓに対して下方向に角度αで傾斜する環状の第二摺動面１３１を有する。このように、第一アーム部１の第一摺動面１２１と第二摺動面１３１は、軸線Ｘに垂直な面Ｓに対して互いに対向する方向に角度αで傾斜している。第一アーム部１の第一摺動面１２１、第二摺動面１３１は、後述する第二アーム部２の第二摺動面２３１、第一摺動面２２１とそれぞれ回転摺動する面である。
【００３２】

また、第一アーム部１は、上端部１２の外周面に、内向きにわずかに傾斜する斜面部１４を有し、下端部１３の外周面に、内向きにわずかに傾斜する斜面部１５を有する。上端部１２及び下端部１３が、このような斜面部１４及び１５を有することにより、曲げの状態であってもロボットアーム１００の表面における連続性が保たれる。

【００３３】

図２（ｃ）に示すように、第一アーム部１の上端部１２には、後述する第二アーム部２の下端部２３の係合部２３２と係合可能な環状の係合部１２２が形成されており、第一アーム部１の下端部１３には、後述する第二アーム部２の上端部２２の係合部２２２と係合可能な環状の係合部１３２が形成されている。本実施形態において、第一アーム部１の上端部１２の係合部１２２は、内周面に沿って軸方向に周設される凸部１２２１と、内周面において内向きに開口するように周設される凹部１２２２とを有し、第一アーム部１の下端部１３の係合部１３２は、内周面に沿って軸方向に周設される凸部１３２１と、内周面において内向きに開口するように周設される凹部１３２２とを有するが、第一アーム部１の上端部１２の係合部１２２及び下端部１３の係合部１３２の形状は、互いに第二アーム部２の下端部２３の係合部２３２及び上端部２２の係合部２２２と係合可能であればよく、これに限られるものではない。

【００３４】

第一アーム部１において、上端部１２の係合部１２２の凸部１２２１の外周面には、外向きに開口した第一上部溝１２２３が形成されており、下端部１３の係合部１３２の凸部１３２１の外周面には、外向きに開口した第一下部溝１３２３が形成されている。第一アーム部１の第一上部溝１２２３及び第一下部溝１３２３の形状は、それぞれが、後述する第一関節機構３としての２本のワイヤ３１（ワイヤ３１１及びワイヤ３１２）を収容可能であればよい。なお、第一上部溝１２２３は、第一関節機構３としてのワイヤ３１１及びワイヤ３１２をそれぞれ収容可能な２つの溝により構成されていてもよい。同様に、第一下部溝１３２３は、第一関節機構３としてのワイヤ３１１及びワイヤ３１２をそれぞれ収容可能な２つの溝により構成されていてもよい。

【００３５】

図１（ａ）及び図５に示すように、第一アーム部１の外周面のうち、軸方向の長さが最も小さい箇所には、後述する第二関節機構４としてのワイヤ４１１及びワイヤ４１２を外部に送出可能な貫通孔１６ａ～１６ｄが設けられている。貫通孔１６ａ及び１６ｂは軸方向の上側に位置し、貫通孔１６ｃ及び１６ｄは軸方向の下側に位置している。

【００３６】

［第二アーム部］

図３に示すように、本実施形態において、第二アーム部２は、第一アーム部１と同様の剛体であって、軸中心に中空部２１を有し、第一アーム部１と同じ外径を有する筒形状である。第二アーム部２は、軸方向の上端部２２に、軸線Ｘに垂直な面Ｓに対して上方向に角度αで傾斜する環状の第一摺動面２２１を有し、軸方向の下端部２３に、軸線Ｘに垂直な面Ｓに対して下方向に角度αで傾斜する環状の第二摺動面２３１を有する。このように、第二アーム部２の第一摺動面２２１と第二摺動面２３１は、軸線Ｘに垂直な面Ｓに対して互いに対向する方向に角度αで傾斜している。第二アーム部２の第一摺動面２２１、第二摺動面２３１は、第一アーム部１の第二摺動面１３１、第一摺動面１２１とそれぞれ回転摺動する面である。

【００３７】

また、第二アーム部２は、上端部２２の外周面に、内向きにわずかに傾斜する斜面部２４を有し、下端部２３の外周面に、内向きにわずかに傾斜する斜面部２５を有する。上端部２２及び下端部２３が、このような斜面部２４及び２５を有することにより、曲げの状態であってもロボットアーム１００の表面における連続性が保たれる。

【００３８】

図３（ｃ）に示すように、第二アーム部２の上端部２２には、第一アーム部１の下端部１３の係合部１３２と係合可能な環状の係合部２２２が形成されており、第二アーム部２

の下端部２３には、第一アーム部１の上端部１２の係合部１２２と係合可能な環状の係合部２３２が形成されている。本実施形態において、第二アーム部２の上端部２２の係合部２２２は、外向きに張り出すように周設される凸部２２２１と、外周面と内周面との間に軸方向に周設される凹部２２２２とを有し、第二アーム部２の下端部２３の係合部２３２は、外向きに張り出すように周設される凸部２３２１と、外周面と内周面との間に軸方向に周設される凹部２３２３とを有するが、第二アーム部２の上端部２２の係合部２２２及び下端部２３の係合部２３２の形状は、互いに第一アーム部１の下端部１３の係合部１３２及び上端部１２の係合部１２２と係合可能であればよく、これに限られるものではない。

【００３９】

第二アーム部２において、上端部２２の係合部２２２の凸部２２２１の外周面には、外向きに開口した第二上部溝２２２３が形成されており、下端部２３の係合部２３２の凸部２３２１の外周面には、外向きに開口した第二下部溝２３２３が形成されている。第二アーム部２の第二上部溝２２２３及び第二下部溝２３２３の形状は、それぞれが、後述する第二関節機構４としての２本のワイヤ４１（ワイヤ４１１及びワイヤ４１２）を収容可能であればよい。なお、第二上部溝２２２３は、第二関節機構４としてのワイヤ４１１及びワイヤ４１２をそれぞれ収容可能な２つの溝により構成されていてもよい。同様に、第二下部溝２３２３は、第二関節機構４としてのワイヤ４１１及びワイヤ４１２をそれぞれ収容可能な２つの溝により構成されていてもよい。

【００４０】

図４に示すように、第二アーム部２の外周面のうち、軸方向の長さが最も小さい箇所には、後述する第一関節機構３としてのワイヤ３１１及び３１２を外部に送出可能な貫通孔２６ａ～２６ｄが設けられている。貫通孔２６ａ及び２６ｂは軸方向の下側に位置し、貫通孔２６ｃ及び２６ｄは軸方向の上側に位置している。

【００４１】

第一アーム部１及び第二アーム部２において、角度αは、ロボットアーム１００のサイズや用途等によって適宜設定することができるが、ロボットアーム１００の回転動作中であっても第一アーム部１と第二アーム部２との間に隙間が生じず、ロボットアーム１００の表面が連続性を有するように設定することが好ましい。なお、第一アーム部１及び第二アーム部２の角度αの設定や組み合わせる個数によって、ロボットアーム１００の合計回転角度（第一アーム部１及び第二アーム部２を完全に回転した場合のロボットアーム１００の曲げ角度）を調整することが可能であり、９０°以上の曲げを達成することも可能である。

【００４２】

本実施形態において、第一アーム部１及び第二アーム部２は、上述のように、軸中心にそれぞれ中空部１１及び２１を有する筒形状の剛体である。第一アーム部１及び第二アーム部２がそれぞれ中空部１１及び２１を有することにより、トルクを効率的に伝達することができるため、第一アーム部１及び第二アーム部２の軽量化が実現でき、もって、ロボットアーム１００全体の重量を減少させることができる。また、ロボットアーム１００全体を通して連続する中空構造が形成されるので、中空内部にケーブル等の部品を通過させることができる。

【００４３】

第一アーム部１及び第二アーム部２を構成する剛体とは、水中、高圧環境、クリーンルーム、放射性環境等の外部環境がロボットアーム１００の内部に影響を与えない程度の障壁となり得る剛性を有する物体をいい、金属、プラスチック、セラミックス等を採用することができる。上記剛体は、ロボットアーム１００を使用する外部環境、各アーム部の自重や必要な回転トルク等に応じて選定すればよく、軽量化のために剛性のあるメッシュ材料であってもよい。

【００４４】

［第一関節機構］

10
20
30
40
50

第一関節機構３は、複数の第一アーム部１を連動回転させるものである。本実施形態において、第一関節機構３は、１つの第一アーム部１とこれに最も近い第一アーム部１とを互いに連結する２本のワイヤ３１により構成されている。第一関節機構３としての２本のワイヤ３１は、１つの第一アーム部１とこれに最も近い第一アーム部１が同じ方向及び回転角で回転するように、２つの第一アーム部１を連結している。

【００４５】

図４は、第一アーム部１について、第一関節機構３としての２本のワイヤ３１の設け方を示す模式的斜視図である。２本のワイヤ３１の一方を第一ワイヤ３１１、他方を第二ワイヤ３１２と定義する。図４（ａ）は、２つの第一アーム部１の間に１つの第二アーム部２が配置された状態を示す部分斜視図である。図４（ｂ）は、(a)の状態から便宜的に第二アーム部２を取り除いた状態を示している。図４（ｃ）は、（ｂ）の状態から便宜的に上方に位置する第一アーム部１を取り除いた状態を示している。図４（ｄ）は、（ｃ）の状態から便宜的に下方に位置する第一アーム部１を取り除いた状態を示しており、左から順に、第一ワイヤ３１１及び第二ワイヤ３１２、第一ワイヤ３１１、第二ワイヤ３１２を示している。

【００４６】

図４に示すように、第一ワイヤ３１１は、１つの第一アーム部１の第一上部溝１２２３を一方向に周回してから、１つの第一アーム部１に最も近い第一アーム部１の第一下部溝１３２３を一方向に周回するように設けられている。一方、第二ワイヤ３１２は、１つの第一アーム部１の第一上部溝１２２３を他方向に周回してから、１つの第一アーム部１に最も近い第一アーム部１の第一下部溝１３２３を他方向に周回するように設けられている。第一ワイヤ３１１と第二ワイヤ３１２とがたすき掛けされる交差点３２は、２つの第一アーム部１の間に配置される第二アーム部２の貫通孔２６ａ～２６ｄの位置にある。第一ワイヤ３１１と第二ワイヤ３１２とが、交差点３２において、たすき掛けされることにより、１つの第一アーム部１とこれに最も近い第一アーム部１とが連結される。

【００４７】

第一ワイヤ３１１及び第二ワイヤ３１２の設け方について、図６（ｃ）及び（ｄ）を用いてより具体的に説明する。図６（ｃ）及び（ｄ）は、１つの第一アーム部１ａと、第一アーム部１ａに最も近く、第一アーム部１ａの上方に位置する第一アーム部１ｂを例として、便宜的にこれらを互いに上下方向に開いた状態を示している。便宜的に、図６（ｃ）は、第一ワイヤ３１１の設け方を、図６（ｄ）は第二ワイヤ３１２の設け方を表しているが、実際には、第一ワイヤ３１１及び第二ワイヤ３１２は、第一アーム部１ａの第一上部溝１２２３と第一アーム部１ｂの第一下部溝１３２３を、共通して使用している。

【００４８】

第一ワイヤ３１１は、図６（ｃ）に示すように、第一アーム部１ａに設けられた第一ワイヤ固定部１２２５から出て、第一アーム部１ａの第一上部溝１２２３を一方向に周回してから、第一アーム部１ｂの第一下部溝１３２３を一方向に周回して、第一アーム部１ｂに設けられた第一ワイヤ固定部１３２５に至るように設けられている。一方、第二ワイヤ３１２は、図６（ｄ）に示すように、第一アーム部１ａに設けられた第二ワイヤ固定部１２２６から出て、第一アーム部１ａの第一上部溝１２２３を他方向に周回してから、第一アーム部１ｂの第一下部溝１３２３を他方向に周回して、第一アーム部１ｂに設けられた第二ワイヤ固定部１３２６に至るように設けられている。このように、第一ワイヤ３１１と第二ワイヤ３１２は、図６（ｃ）及び（ｄ）において対称的に設けられている。

【００４９】

なお、このとき、図４（ａ）に示されるように、第一ワイヤ３１１は、第二アーム部２の貫通孔２６ａから外部に一度出され、貫通孔２６ｃから内部に再び戻される。第二ワイヤ３１２は、第二アーム部２の貫通孔２６ｂから外部に一度出され、貫通孔２６ｄから内部に再び戻される。第二アーム部２の貫通孔２６ａ～２６ｄを用いて、第一ワイヤ３１１及び第二ワイヤ３１２を外部に一度出してから内部に戻していることにより、第一アーム部１と第二アーム部２とが強固に連結される。

【００５０】
　第一関節機構３を構成するワイヤ３１（第一ワイヤ３１１、第二ワイヤ３１２）の動きについて、図６（ｃ）及び（ｄ）を参照してさらに説明する。
【００５１】
　例えば、第一ワイヤ３１１が図６（ｃ）の状態、すなわち、第一ワイヤ３１１が、第一アーム部１ｂの第一下部溝１３２３を一周回し、第一アーム部１ａの第一上部溝１２２３を半周回している場合、第一ワイヤ３１１により、第一アーム部１ａ及び第一アーム部１ｂは、矢印方向に１８０度回転可能である。これは、第一アーム部１ａが矢印方向に回転すると、第一ワイヤ３１１が第一アーム部１ｂを引っ張り、第一アーム部１ｂが第一アーム部１ａと同じ方向（矢印方向）に回転するからである。
【００５２】
　例えば、第二ワイヤ３１２が図６（ｄ）の状態、すなわち、第二ワイヤ３１２が、第一アーム部１ａの第一上部溝１２２３を一周回し、第一アーム部１ｂの第一下部溝１３２３を半周回している場合、第二ワイヤ３１２により、第一アーム部１ａ及び第一アーム部１ｂは、矢印方向に１８０度回転可能である。これは、第一アーム部１ｂが矢印方向に回転すると、第二ワイヤ３１２が第一アーム部１ａを引っ張り、第一アーム部１ａが第一アーム部１ｂと同じ方向（矢印方向）に回転するからである。
【００５３】
［第二関節機構］
　第二関節機構４は、複数の第二アーム部２を連動回転させるものである。本実施形態において、第二関節機構４は、１つの第二アーム部２とこれに最も近い第二アーム部２とを互いに連結する２本のワイヤ４１により構成されている。第二関節機構４としての２本のワイヤ４１は、１つの第二アーム部２とこれに最も近い第二アーム部２が同じ方向及び回転角で回転するように、２つの第二アーム部２を連結している。
【００５４】
　図５は、第二アーム部２について、第二関節機構４としての２本のワイヤ４１の設け方を示す模式的斜視図である。２本のワイヤ４１の一方を第一ワイヤ４１１、他方を第二ワイヤ４１２と定義する。図５（ａ）は、２つの第二アーム部２の間に１つの第一アーム部１が配置された状態を示す部分斜視図である。図５（ａ）は図１に対応しているため、最下方に位置する第二アーム部２は、軸線に垂直な面で１／２に切断された状態で示されている。図５（ｂ）は、(a)の状態から便宜的に第一アーム部１を取り除いた状態を示している。図５（ｃ）は、（ｂ）の状態から便宜的に上方に位置する第二アーム部２を取り除いた状態を示している。図５（ｄ）は、（ｃ）の状態から便宜的に下方に位置する第二アーム部２を取り除いた状態を示しており、左から順に、第一ワイヤ４１１及び第二ワイヤ４１２、第一ワイヤ４１１、第二ワイヤ４１２を示している。
【００５５】
　図５に示すように、第一ワイヤ４１１は、１つの第二アーム部２の第二上部溝２２２３を一方向に周回してから、１つの第二アーム部２に最も近い第二アーム部２の第二下部溝２３２３を一方向に周回するように設けられている。一方、第二ワイヤ４１２は、１つの第二アーム部２の第二上部溝２２２３を他方向に周回してから、１つの第二アーム部２に最も近い第二アーム部２の第二下部溝２３２３を他方向に周回するように設けられている。第一ワイヤ４１１と第二ワイヤ４１２とがたすき掛けされる交差点４２は、２つの第二アーム部２の間に配置される第一アーム部１の貫通孔１６ａ～１６ｄの位置にある。第一ワイヤ４１１と第二ワイヤ４１２とが、交差点４２において、たすき掛けされることにより、１つの第二アーム部２とこれに最も近い第二アーム部２とが連結される。
【００５６】
　第一ワイヤ４１１及び第二ワイヤ４１２の設け方について、図６（ａ）及び（ｂ）を用いてより具体的に説明する。図６（ａ）及び（ｂ）は、１つの第二アーム部２ａと、第二アーム部２ａに最も近く、第二アーム部２ａの上方に位置する第二アーム部２ｂを例として、便宜的にこれらを互いに上下方向に開いた状態を示している。便宜的に、図６（ａ）

は、第一ワイヤ４１１の設け方を、図６（ｂ）は第二ワイヤ４１２の設け方を表しているが、実際には、第一ワイヤ４１１及び第二ワイヤ４１２は、第二アーム部２ａの第二上部溝２２２３と第二アーム部２ｂの第二下部溝２３２３を、共通して使用している。
【００５７】
第一ワイヤ４１１は、図６（ａ）に示すように、第二アーム部２ａに設けられた第一ワイヤ固定部２２２５から出て、第二アーム部２ａの第二上部溝２２２３を一方向に周回してから、第二アーム部２ｂの第二下部溝２３２３を一方向に周回して、第二アーム部２ｂに設けられた第一ワイヤ固定部２３２５に至るように設けられている。一方、第二ワイヤ４１２は、図６（ｂ）に示すように、第二アーム部２ａに設けられた第二ワイヤ固定部２２２６から出て、第二アーム部２ａの第二上部溝２２２３を他方向に周回してから、第二アーム部２ｂの第二下部溝２３２３を他方向に周回して、第二アーム部２ｂに設けられた第二ワイヤ固定部２３２６に至るように設けられている。このように、第一ワイヤ４１１と第二ワイヤ４１２は、図６（ａ）及び（ｂ）において対称的に設けられている。
【００５８】
なお、このとき、図５（ａ）に示されるように、第一ワイヤ４１１は、第一アーム部１の貫通孔１６ｃから外部に一度出され、貫通孔１６ａから内部に再び戻される。第二ワイヤ４１２は、第一アーム部１の貫通孔１６ｄから外部に一度出され、貫通孔１６ｂから内部に再び戻される。第一アーム部１の貫通孔１６ａ～１６ｄを用いて、第一ワイヤ４１１及び第二ワイヤ４１２を外部に一度出してから内部に戻していることにより、第一アーム部１と第二アーム部２とが強固に連結される。
【００５９】
第二関節機構４を構成するワイヤ４１（第一ワイヤ４１１、第二ワイヤ４１２）の動きについて、図６（ａ）及び（ｂ）を参照してさらに説明する。
【００６０】
例えば、第一ワイヤ４１１が図６（ａ）の状態、すなわち、第一ワイヤ４１１が、第二アーム部２ａの第二上部溝２２２３を一周回し、第二アーム部２ｂの第二下部溝２３２３を半周回している場合、第一ワイヤ４１１により、第二アーム部２ａ及び第二アーム部２ｂは、矢印方向に１８０度回転可能である。これは、第二アーム部２ｂが矢印方向に回転すると、第一ワイヤ４１１が第二アーム部２ａを引っ張り、第二アーム部２ａが第二アーム部２ｂと同じ方向（矢印方向）に回転するからである。
【００６１】
例えば、第二ワイヤ４１２が図６（ｂ）の状態、すなわち、第二ワイヤ４１２が、第二アーム部２ｂの第二下部溝２３２３を一周回し、第二アーム部２ａの第二上部溝２２２３を半周回している場合、第二ワイヤ４１２により、第二アーム部２ａ及び第二アーム部２ｂは、矢印方向に１８０度回転可能である。これは、第二アーム部２ａが矢印方向に回転すると、第二ワイヤ４１２が第二アーム部２ｂを引っ張り、第二アーム部２ｂが第二アーム部２ａと同じ方向（矢印方向）に回転するからである。
【００６２】
〈ロボットアームの動作〉
図１（ｃ）、図２（ｃ）及び図３（ｃ）を参照するとよく分かるように、第二アーム部２ａと第二アーム部２ｂとを接続する第一ワイヤ４１１及び第二ワイヤ４１２は、第一アーム部１ａの内側に位置している。そのため、図６（ａ）及び（ｂ）は第一アーム部１ａの内側からの動きを表している。同様に、図１（ｃ）、図２（ｃ）及び図３（ｃ）を参照するとよく分かるように、第一アーム部１ａと第一アーム部１ｂとを接続する第一ワイヤ３１１及び第二ワイヤ３１２は、第二アーム部２ａの内側に位置している。そのため、図６（ｃ）及び（ｄ）は第二アーム部２ａの内側からの動きを表している。
【００６３】
例えば、図６（ａ）又は（ｂ）において動きがある場合、第二アーム部２ｂは図６（ａ）又は（ｂ）の背景、すなわち第一アーム部１ａに対して回転する。そのため、これと同じ動きを第二アーム部２ｂの内側から見たのが図６（ｃ）又は（ｄ）であり、第一アーム

部１ａが、第二アーム部２ｂと同じ角度、同じ速度で、ただし逆方向で、回転することが分かる。このようにして、図６（ａ）又は（ｂ）における動きは、図６（ｃ）又は（ｄ）において同じ動きを生み出し、この動きはすべてのアーム部に伝播する。そのため、すべての第一アーム部１は連動して一方向に回転し、すべての第二アーム部２は連動して他方向に回転する。

【００６４】

したがって、本実施形態の第一関節機構３によれば、２本のワイヤ３１により、複数の第二アーム部２に対して相対的に、複数の第一アーム部１すべてが連動して同じ方向及び回転角で回転する。同様に、本実施形態の第二関節機構４によれば、２本のワイヤ４１により、複数の第一アーム部１に対して相対的に、複数の第二アーム部２すべてが連動して同じ方向及び回転角で回転する。そのため、一つのアクチュエータでロボットアーム１００の曲げを制御することができる。

【００６５】

次に、図７を参照しつつ、上述の第一実施形態のロボットアーム１００全体の動作について具体的に説明する。なお、実際の動作に当たっては、ロボットアーム１００において、例えば、最下方に位置する第一アーム部１又は第二アーム部２の回転のみを１つのアクチュエータ等によって制御すればよい。なお、図７においては、説明を容易にするために、ロボットアーム１００は、第一アーム部１を３つ、第二アーム部２を４つ備えるものとして示されており、最下方に位置する第二アーム部２は、軸線に垂直な面で１／２に切断された状態で示されている。

【００６６】

図７は、ロボットアーム１００において、第二アーム部２に対して、第一アーム部１の回転角を順次変位させた状態を示す模式的斜視図である。図７のロボットアーム１００は、第一アーム部１ａ、１ｂ及び１ｃと、第二アーム部２ａ、２ｂ、２ｃ及び２ｄとを備える。図７においては、第二アーム部２を基準として、第一アーム部１の回転角を順次変位させている。

【００６７】

図７（ａ）は、ロボットアーム１００の直線状態を示す斜視図である。このとき、第一アーム部１は回転していない。

【００６８】

図７（ｂ）は、第二アーム部２に対して相対的に、第一アーム部１が一方向にわずかに回転した状態を示す斜視図である。このとき、第一アーム部１ａ、１ｂ及び１ｃは、第一関節機構３により連動して回転している。また、第二アーム部２ａ、２ｂ、２ｃ及び２ｄも、第二関節機構４により連動するため、第二アーム部２ａ、２ｂ、２ｃ及び２ｄの正面の位置が変わらないことが分かる。

【００６９】

図７（ｃ）は、第二アーム部２に対して相対的に、第一アーム部１が一方向に（ｂ）よりもさらに回転した状態を示す斜視図である。

【００７０】

図７（ｄ）は、第二アーム部２に対して相対的に、第一アーム部１が一方向に（ｃ）よりもさらに回転した状態を示す斜視図である。

【００７１】

図７（ｅ）は、第二アーム部２に対して相対的に、第一アーム部１が一方向に（ｄ）よりもさらに回転し、ロボットアーム１００が１８０°の合計回転を達成した状態を示す図である。

【００７２】

なお、第一関節機構３としてのワイヤ３１及び第二関節機構４としてのワイヤ４１の材質、形状及び太さは、ロボットアーム１００のサイズや用途、第一アーム部１及び第二アーム部２の剛体材料に応じて適宜選択することができる。ワイヤ３１及びワイヤ４１の材質の例としては、ナイロン、フロロカーボン、ポリエステル、ポリエチレン、ザイル麻、

ジュート麻、マニラ麻、絹、カーボンファイバーやグラスファイバー等の特殊繊維、ゴムのような弾性材料、金属材料等が挙げられる。ワイヤ３１及びワイヤ４１の形状の例としては、単線状、より線状、チェーン等が挙げられる。ワイヤ３１及びワイヤ４１の太さは、ロボットアーム１００の駆動に要する引張荷重に十分に耐えうる太さのものを適宜選定することができる。

【００７３】

〔第二実施形態〕

第二実施形態に係るロボットアーム２００は、第一関節機構及び第二関節機構がそれぞれ、２本のワイヤと各ワイヤの移動をガイドする２つのアイドルプーリとにより構成される以外は、第一実施形態に係るロボットアーム１００と実質的に同じである。

【００７４】

図８は、ロボットアーム２００の第一アーム部５について、第一関節機構７のワイヤ７１及びアイドルプーリ７２の設け方を示す模式図である。図９は、ロボットアーム２００の第二アーム部６について、第二関節機構８のワイヤ８１及びアイドルプーリ８２の設け方を示す模式図である。図８では、２つの第一アーム部５の間に配置されている第二アーム部６は省略されている。同様に、図９では、２つの第二アーム部６の間に配置されている第一アーム部５は省略されている。実際には、図８に示される第一アーム部５と図９に示される第二アーム部６は、第一実施形態に係る第一アーム部１と第二アーム部２と同様に、交互に配置されている。

【００７５】

〈ロボットアーム〉

本実施形態に係るロボットアーム２００は、第一実施形態のロボットアーム１００と同様に、表面が連続性を有する円柱状を呈し、複数の第一アーム部５、複数の第二アーム部６、第一関節機構７、第二関節機構８を主に備える。複数の第一アーム部５と複数の第二アーム部６は、第一実施形態のロボットアーム１００と同様に、交互に直列に配置されており、軸方向の両端部が、軸線に垂直な面に対して互いに対向する方向に角度αで傾斜している。ロボットアーム２００の外観は、図１（ａ）及び（ｂ）に示される第一実施形態のロボットアーム１００の外観と実質的に同一である。

【００７６】

［第一アーム部］

第一実施形態のロボットアーム１００と同様に、ロボットアーム２００において、第一アーム部５は剛体であって、軸中心に中空部５１を有する筒形状である。第一アーム部５は、第一実施形態のロボットアーム１００と同様に、軸方向の上端部５２に、軸線Ｘに垂直な面Ｓに対して上方向に角度αで傾斜する環状の第一摺動面５２１を有し、軸方向の下端部５３に、軸線Ｘに垂直な面Ｓに対して下方向に角度αで傾斜する環状の第二摺動面５３１を有する。このように、第一アーム部５の第一摺動面５２１と第二摺動面５３１は、軸線Ｘに垂直な面Ｓに対して互いに対向する方向に角度αで傾斜している。第一アーム部５の第一摺動面５２１、第二摺動面５３１は、後述する第二アーム部６の第二摺動面６３１、第一摺動面６２１とそれぞれ回転摺動する面である。

【００７７】

また、第一アーム部５は、上端部５２の外周面に、内向きにわずかに傾斜する斜面部５４を有し、下端部５３の外周面に、内向きにわずかに傾斜する斜面部５５を有する。上端部５２及び下端部５３が、このような斜面部５４及び５５を有することにより、曲げの状態であってもロボットアーム２００の表面における連続性が保たれる。

【００７８】

図８には詳細に表されていないが、第一実施形態のロボットアーム１００と同様に、ロボットアーム２００の第一アーム部５の上端部５２には、後述する第二アーム部６の下端部６３の係合部と係合可能な環状の係合部が形成されており、第一アーム部５の下端部５３には、後述する第二アーム部６の上端部６２の係合部と係合可能な環状の係合部が形成されている。第一実施形態のロボットアーム１００と同様に、ロボットアーム２００の第

一アーム部５の上端部５２の係合部は、内周面に沿って軸方向に周設される凸部と、内周面において内向きに開口するように周設される凹部とを有し、第一アーム部５の下端部５３の係合部は、内周面に沿って軸方向に周設される凸部と、内周面において内向きに開口するように周設される凹部とを有するが、第一アーム部５の上端部５２の係合部及び下端部５３の係合部の形状は、互いに第二アーム部６の下端部６３の係合部及び上端部６２の係合部と係合可能であればよく、これに限られるものではない。

【００７９】

図８に示すように、本実施形態の第一アーム部５の上端部５２及び下端部５３の直径は、第一実施形態のロボットアーム１００に比べて小さい。これは、後述する第一関節機構７としての２本のワイヤ７１及び２つのアイドルプーリ７２が、第一アーム部５の径内に収まるようにするためである。

【００８０】

第一アーム部５において、上端部５２の係合部の凸部の外周面には、外向きに開口した第一上部溝５２２３が形成されており、下端部５３の係合部の凸部の外周面には、外向きに開口した第一下部溝５３２３が形成されている。第一アーム部５の第一上部溝５２２３及び第一下部溝５３２３の形状は、それぞれが、後述する第一関節機構７としての２本のワイヤ７１（ワイヤ７１１及びワイヤ７１２）を収容可能であればよい。なお、第一上部溝５２２３は、第一関節機構７としてのワイヤ７１１及びワイヤ７１２をそれぞれ収容可能な２つの溝により構成されていてもよい。同様に、第一下部溝５３２３は、第一関節機構７としてのワイヤ７１１及びワイヤ７１２をそれぞれ収容可能な２つの溝により構成されていてもよい。

【００８１】

［第二アーム部］

第一実施形態のロボットアーム１００と同様に、ロボットアーム２００において、第二アーム部６は剛体であって、軸中心に中空部６１を有する筒形状である。第二アーム部６は、第一実施形態のロボットアーム１００と同様に、軸方向の上端部６２に、軸線Ｘに垂直な面Ｓに対して上方向に角度αで傾斜する環状の第一摺動面６２１を有し、軸方向の下端部６３に、軸線Ｘに垂直な面Ｓに対して下方向に角度αで傾斜する環状の第二摺動面６３１を有する。このように、第二アーム部６の第一摺動面６２１と第二摺動面６３１は、軸線Ｘに垂直な面Ｓに対して互いに対向する方向に角度αで傾斜している。第二アーム部６の第一摺動面６２１、第二摺動面６３１は、第一アーム部５の第二摺動面５３１、第一摺動面５２１とそれぞれ回転摺動する面である。

【００８２】

また、第二アーム部６は、上端部６２の外周面に、内向きにわずかに傾斜する斜面部６４を有し、下端部６３の外周面に、内向きにわずかに傾斜する斜面部６５を有する。上端部６２及び下端部６３が、このような斜面部６４及び６５を有することにより、曲げの状態であってもロボットアーム２００の表面における連続性が保たれる。

【００８３】

図９には詳細に表されていないが、第一実施形態のロボットアーム１００と同様に、ロボットアーム２００の第二アーム部６の上端部６２には、第一アーム部５の下端部５３の係合部と係合可能な環状の係合部が形成されており、第二アーム部６の下端部６３には、第一アーム部５の上端部５２の係合部と係合可能な環状の係合部が形成されている。第一実施形態のロボットアーム１００と同様に、ロボットアーム２００の第二アーム部６の上端部６２の係合部は、内周面に沿って軸方向に周設される凸部と、内周面において内向きに開口するように周設される凹部とを有し、第二アーム部６の下端部６３の係合部は、内周面に沿って軸方向に周設される凸部と、内周面において内向きに開口するように周設される凹部とを有するが、第二アーム部６の上端部６２の係合部及び下端部６３の係合部の形状は、互いに第一アーム部５の下端部５３の係合部及び上端部５２の係合部と係合可能であればよく、これに限られるものではない。

【００８４】

図９に示すように、本実施形態の第二アーム部６の上端部６２及び下端部６３の直径は、第一実施形態のロボットアーム１００に比べて小さい。これは、後述する第二関節機構８としての２本のワイヤ８１及び２つのアイドルプーリ８２が、第二アーム部６の径内に収まるようにするためである。

【００８５】

第二アーム部６において、上端部６２の係合部の凸部の外周面には、外向きに開口した第二上部溝６２２３が形成されており、下端部６３の係合部の凸部の外周面には、外向きに開口した第二下部溝６３２３が形成されている。第二アーム部６の第二上部溝６２２３及び第二下部溝６３２３の形状は、それぞれが、後述する第二関節機構８としての２本のワイヤ８１（ワイヤ８１１及びワイヤ８１２）を収容可能であればよい。なお、第二上部溝６２２３は、第二関節機構８としてのワイヤ８１１及びワイヤ８１２をそれぞれ収容可能な２つの溝により構成されていてもよい。同様に、第二下部溝６３２３は、第二関節機構８としてのワイヤ８１１及びワイヤ８１２をそれぞれ収容可能な２つの溝により構成されていてもよい。

【００８６】

第一実施形態のロボットアーム１００と同様に、ロボットアーム２００の第一アーム部５及び第二アーム部６において、角度αは、ロボットアーム２００のサイズや用途等によって適宜設定することができるが、ロボットアーム２００の回転動作中であっても第一アーム部５と第二アーム部６との間に隙間が生じず、ロボットアーム２００の表面が連続性を有するように設定することが好ましい。なお、第一アーム部５及び第二アーム部６の角度αの設定や組み合わせる個数によって、ロボットアーム２００の合計回転角度（第一アーム部５及び第二アーム部６を完全に回転した場合のロボットアーム２００の曲げ角度）を調整することが可能であり、９０°以上の曲げを達成することも可能である。

【００８７】

第一実施形態のロボットアーム１００と同様に、ロボットアーム２００の第一アーム部５及び第二アーム部６は、上述のように、軸中心にそれぞれ中空部５１及び６１を有する筒形状の剛体である。第一アーム部５及び第二アーム部６がそれぞれ中空部５１及び６１を有することにより、トルクを効率的に伝達することができるため、第一アーム部５及び第二アーム部６の軽量化が実現でき、もって、ロボットアーム２００全体の重量を減少させることができる。また、ロボットアーム２００全体を通して連続する中空構造が形成されるので、中空内部にケーブル等の部品を通過させることができる。

【００８８】

第一実施形態のロボットアーム１００と同様に、ロボットアーム２００の第一アーム部５及び第二アーム部６を構成する剛体とは、水中、高圧環境、クリーンルーム、放射性環境等の外部環境がロボットアーム２００の内部に影響を与えない程度の障壁となり得る剛性を有する物体をいい、金属、プラスティック、セラミックス等を採用することができる。上記剛体は、ロボットアーム２００を使用する外部環境、各アーム部の自重や必要な回転トルク等に応じて選定すればよく、軽量化のために剛性のあるメッシュ材料であってもよい。

【００８９】

［第一関節機構］

第一関節機構７は、複数の第一アーム部５を連動回転させるものである。本実施形態において、第一関節機構７は、１つの第一アーム部５とこれに最も近い第一アーム部５とを互いに連結する２本のワイヤ７１と、２本のワイヤ７１それぞれの移動をガイドする２つのアイドルプーリ７２とにより構成されている。第一関節機構７としての２本のワイヤ７１及び２つのアイドルプーリ７２は、１つの第一アーム部５とこれに最も近い第一アーム部５が同じ方向及び回転角で回転するように、２つの第一アーム部５を連結している。

【００９０】

図８は、第一アーム部５について、第一関節機構７としての２本のワイヤ７１及び２つのアイドルプーリ７２の設け方を示している。２本のワイヤ７１の一方を第一ワイヤ７１

１、他方を第二ワイヤ７１２と定義する。また、２つのアイドルプーリ７２の一方を第一アイドルプーリ７２１、他方を第二アイドルプーリ７２２と定義する。図８（ａ）は、１つの第一アーム部５ａとこれの上側に隣接する第一アーム部５ｂを示す部分側面図である。図８（ｂ）は、１つの第一アーム部５ａとこれの上側に隣接する第一アーム部５ｂを示す部分斜視図である。

【００９１】

図８に示すように、第一ワイヤ７１１は、第一アイドルプーリ７２１を介して、第一アーム部５ａの第一上部溝５２２３を一方向に周回してから、第一アーム部５ｂの第一下部溝５３２３を一方向に周回するように設けられている。一方、第二ワイヤ７１２は、第二アイドルプーリ７２２を介して、第一アーム部５ａの第一上部溝５２２３を他方向に周回してから、第一アーム部５ｂの第一下部溝５３２３を他方向に周回するように設けられている。第一ワイヤ７１１と第二ワイヤ７１２は、第一アーム部５ａと第一アーム部５ｂとの間に配置される第二アーム部６の軸方向の長さが最も小さい箇所に対応する箇所で交差する。

【００９２】

第一ワイヤ７１１及び第二ワイヤ７１２は、図６（ｃ）及び（ｄ）に示される第一実施形態に係るロボットアーム１００の第一ワイヤ３１１及び第二ワイヤ３１２と同じように設けられている。より具体的には、第一ワイヤ７１１は、第一アーム部５ａに設けられた第一ワイヤ固定部５２２５から出て、第一アーム部５ａの第一上部溝５２２３を一方向に周回してから、第一アーム部５ｂの第一下部溝５３２３を一方向に周回して、第一アーム部５ｂに設けられた第一ワイヤ固定部５３２５に至るように設けられている。一方、第二ワイヤ７１２は、第一アーム部５ａに設けられた第二ワイヤ固定部５２２６から出て、第一アーム部５ａの第一上部溝５２２３を他方向に周回してから、第一アーム部５ｂの第一下部溝５３２３を他方向に周回して、第一アーム部５ｂに設けられた第二ワイヤ固定部５３２６に至るように設けられている。このように、第一ワイヤ７１１と第二ワイヤ７１２は対称的に設けられている。

【００９３】

第一関節機構７を構成する第一ワイヤ７１１、第二ワイヤ７１２の動きは、それぞれの動きが第一アイドルプーリ７２１、第二アイドルプーリ７２２にガイドされる以外は、図６（ｃ）及び（ｄ）に示される第一実施形態に係るロボットアーム１００の第一ワイヤ３１１及び第二ワイヤ３１２の動きと同じである。すなわち、例えば、第一アーム部５ａが一方向に回転すると、第一ワイヤ７１１が第一アーム部５ｂを引っ張り、第一アーム部５ｂが第一アーム部５ａと同じ方向に回転する。第一アーム部５ｂが他方向に回転すると、第一ワイヤ７１１が第一アーム部５ａを引っ張り、第一アーム部５ａが第一アーム部５ｂと同じ方向に回転する。例えば、第一アーム部５ｂが一方向に回転すると、第二ワイヤ７１２が第一アーム部５ａを引っ張り、第一アーム部５ａが第一アーム部５ｂと同じ方向に回転する。第一アーム部５ａが他方向に回転すると、第二ワイヤ７１２が第一アーム部５ｂを引っ張り、第一アーム部５ｂが第一アーム部５ａと同じ方向に回転する。

【００９４】

［第二関節機構］

第二関節機構８は、複数の第二アーム部６を連動回転させるものである。本実施形態において、第二関節機構８は、１つの第二アーム部６とこれに最も近い第二アーム部６とを互いに連結する２本のワイヤ８１と、２本のワイヤ８１それぞれの移動をガイドする２つのアイドルプーリ８２とにより構成されている。第二関節機構８としての２本のワイヤ８１及び２つのアイドルプーリ８２は、１つの第二アーム部６とこれに最も近い第二アーム部６が同じ方向及び回転角で回転するように、２つの第二アーム部６を連結している。

【００９５】

図９では、第二アーム部６について、第二関節機構８としての２本のワイヤ８１及び２つのアイドルプーリ８２の設け方を示している。２本のワイヤ８１の一方を第一ワイヤ８１１、他方を第二ワイヤ８１２と定義する。また、２つのアイドルプーリ８２の一方を第

一アイドルプーリ８２１、他方を第二アイドルプーリ８２２と定義する。図９（ａ）は、１つの第二アーム部６ａとこれの上側に隣接する第二アーム部６ｂを示す部分側面図である。図９（ｂ）は、１つの第二アーム部６ａとこれの上側に隣接する第二アーム部６ｂを示す部分斜視図である。

【００９６】

図９に示すように、第一ワイヤ８１１は、第一アイドルプーリ８２１を介して、第二アーム部６ａの第二上部溝６２２３を一方向に周回してから、第二アーム部６ｂの第二下部溝６３２３を一方向に周回するように設けられている。一方、第二ワイヤ８１２は、第二アイドルプーリ８２２を介して、１つの第二アーム部６ａの第二上部溝６２２３を他方向に周回してから、第二アーム部６ｂの第二下部溝６３２３を他方向に周回するように設けられている。第一ワイヤ８１１と第二ワイヤ８１２は、第二アーム部６ａと第二アーム部６ｂとの間に配置される第一アーム部５の軸方向の長さが最も小さい箇所に対応する箇所で交差する。

【００９７】

第一ワイヤ８１１及び第二ワイヤ８１２は、図６（ａ）及び（ｂ）に示される第一実施形態に係るロボットアーム１００の第一ワイヤ４１１及び第二ワイヤ４１２と同じように設けられている。より具体的には、第一ワイヤ８１１は、第二アーム部６ａに設けられた第一ワイヤ固定部６２２５から出て、第二アーム部６ａの第二上部溝６２２３を一方向に周回してから、第二アーム部６ｂの第二下部溝６３２３を一方向に周回して、第二アーム部６ｂに設けられた第一ワイヤ固定部６３２５に至るように設けられている。一方、第二ワイヤ８１２は、第二アーム部６ａに設けられた第二ワイヤ固定部６２２６から出て、第二アーム部６ａの第二上部溝６２２３を他方向に周回してから、第二アーム部６ｂの第二下部溝６３２３を他方向に周回して、第二アーム部６ｂに設けられた第二ワイヤ固定部６３２６に至るように設けられている。このように、第一ワイヤ８１１と第二ワイヤ８１２は対称的に設けられている。

【００９８】

第二関節機構８を構成する第一ワイヤ８１１、第二ワイヤ８１２の動きは、それぞれの動きが第一アイドルプーリ８２１、第二アイドルプーリ８２２にガイドされる以外は、図６（ａ）及び（ｂ）に示される第一実施形態に係るロボットアーム１００の第一ワイヤ４１１及び第二ワイヤ４１２の動きと同じである。すなわち、例えば、第二アーム部６ｂが一方向に回転すると、第一ワイヤ８１１が第二アーム部６ａを引っ張り、第二アーム部６ａが第二アーム部６ｂと同じ方向に回転する。第二アーム部６ａが他方向に回転すると、第一ワイヤ８１１が第二アーム部６ｂを引っ張り、第二アーム部６ｂが第二アーム部６ａと同じ方向に回転する。例えば、第二アーム部６ａが一方向に回転すると、第二ワイヤ８１２が第二アーム部６ｂを引っ張り、第二アーム部６ｂが第二アーム部６ａと同じ方向に回転する。第二アーム部６ｂが他方向に回転すると、第二ワイヤ８１２が第二アーム部６ａを引っ張り、第二アーム部６ａが第二アーム部６ｂと同じ方向に回転する。

【００９９】

〈ロボットアームの動作〉

第一実施形態のロボットアーム１００と同様に、第二アーム部６ａと第二アーム部６ｂとを接続する第一ワイヤ８１１及び第一アイドルプーリ８２１、第二ワイヤ８１２及び第二アイドルプーリ８２２は、第一アーム部１ａの内側に位置している。同様に、第一アーム部５ａと第一アーム部５ｂとを接続する第一ワイヤ７１１及び第一アイドルプーリ７２１、第二ワイヤ７１２及び第二アイドルプーリ７２２は、第二アーム部６ａの内側に位置している。

【０１００】

例えば、図９において動きがある場合、第二アーム部６ｂは第一アーム部５ａに対して回転する。そのため、第一アーム部５ａが、第二アーム部６ｂと同じ角度、同じ速度で、ただし逆方向で、回転する。このようにして、図９における動きは、図８に同じ動きを生み出し、この動きはすべてのアーム部に伝播する。そのため、すべての第一アーム部５は

連動して一方向に回転し、すべての第二アーム部６は連動して他方向に回転する。
【０１０１】
　したがって、本実施形態の第一関節機構７によれば、２本のワイヤ７１及び２つのアイドルプーリ７２により、複数の第二アーム部６に対して相対的に、複数の第一アーム部５すべてが連動して同じ方向及び回転角で回転する。同様に、本実施形態の第二関節機構８によれば、２本のワイヤ８１及び２つのアイドルプーリ８２により、複数の第一アーム部５に対して相対的に、複数の第二アーム部６すべてが連動して同じ方向及び回転角で回転する。そのため、一つのアクチュエータでロボットアーム２００の曲げを制御することができる。
【０１０２】
　ロボットアーム２００全体は、第一実施形態のロボットアーム１００と同様に、図７に示されるように動作する。
【０１０３】
　なお、第一関節機構７を構成するワイヤ７１及び第二関節機構８を構成するワイヤ８１の材質、形状及び太さは、組み合わせて用いられるアイドルプーリ７２及び８２のサイズや形状、ロボットアーム２００のサイズや用途、第一アーム部５及び第二アーム部６の剛体材料に応じて適宜選択することができる。ワイヤ７１及びワイヤ８１の材質の例としては、ナイロン、フロロカーボン、ポリエステル、ポリエチレン、ザイル麻、ジュート麻、マニラ麻、絹、カーボンファイバーやグラスファイバー等の特殊繊維、ゴムのような弾性材料、金属材料等が挙げられる。ワイヤ７１及びワイヤ８１の形状の例としては、単線状、より線状、チェーン等が挙げられる。ワイヤ７１及びワイヤ８１の太さは、ロボットアーム２００の駆動に要する引張荷重に十分に耐えうる太さのものを適宜選定することができる。
【０１０４】
　また、第一関節機構７を構成するアイドルプーリ７２及び第二関節機構８を構成するアイドルプーリ８２の材質、形状及び大きさは、組み合わせて用いられるワイヤ７１及び８１の材質、形状及び太さ、ロボットアーム２００のサイズや用途、第一アーム部５及び第二アーム部６の剛体材料に応じて適宜選択することができ、汎用品を用いてもよい。
【０１０５】
〔第三実施形態〕
　第三実施形態に係るロボットアーム３００は、第一関節機構及び第二関節機構がそれぞれ、複数の平歯車により構成される以外は、第一実施形態に係るロボットアーム１００と実質的に同じである。
【０１０６】
〈ロボットアーム〉
　本実施形態に係るロボットアーム３００は、第一実施形態のロボットアーム１００と同様に、表面が連続性を有する円柱状を呈し、図１３に示すように、複数の第一アーム部９１、複数の第二アーム部９５、第一関節機構９８（図１３では不図示）、第二関節機構９９（図１３では不図示）を主に備える。複数の第一アーム部９１と複数の第二アーム部９５は、第一実施形態のロボットアーム１００と同様に、交互に直列に配置されており、図１３では詳細に示されていないが、軸方向の両端部が、軸線Ｘに垂直な面Ｓに対して互いに対向する方向に角度αで傾斜している。図１３においては、説明を容易にするために、ロボットアーム３００は、第一アーム部９１を３つ、第二アーム部９５を４つ備えるものとして示されており、最下方に位置する第二アーム部９５は、軸線に垂直な面で１／２に切断された状態で示されている。
【０１０７】
［第一アーム部］
　本実施形態において、第一アーム部９１は、第一本体９２と第一本体９２の外周に取り付けられる第一保護カバー９３とを有する。第一保護カバー９３は、第一本体９２に連動して回転するように構成されている。図１０は、第一アーム部９１の模式的斜視図であっ

て、（ａ）は第一保護カバー９３がない状態、すなわち第一本体９２のみを示しており、（ｂ）は第一保護カバー９３が取り付けられた状態を示している。

【０１０８】

図１０（ａ）に示すように、本実施形態において、第一本体９２は剛体であって、軸中心に中空部９２１を有する筒形状である。図１０（ａ）では詳細に示されていないが、第一本体９２は、軸方向の上端部９２２に、軸線に垂直な面に対して上方向に角度αで傾斜する環状の第一上部冠歯車９２３を有し、軸方向の下端部９２４に、軸線に垂直な面に対して下方向に角度αで傾斜する環状の第一下部冠歯車９２５を有する。第一本体９２の第一上部冠歯車９２３、第一下部冠歯車９２５は、後述する第一関節機構９８を構成する一対の第一下部平歯車９８１、一対の第一上部平歯車９８２とそれぞれ噛み合う歯車である。

【０１０９】

図１０（ｂ）に示すように、本実施形態において、第一保護カバー９３は剛体の筒形状である。図１０（ｂ）では詳細に示されていないが、軸方向の上端部９３２に、軸線に垂直な面に対して上方向に第一本体９２と同様の角度αで傾斜する環状の第一摺動面９３３を有し、軸方向の下端部９３４に、軸線に垂直な面に対して下方向に第一本体９２と同様の角度αで傾斜する環状の第二摺動面９３５を有する。第一保護カバー９３の第一摺動面９３３、第二摺動面９３５は、後述する第二アーム部９５の第二保護カバー９７の第二摺動面９７５、第一摺動面９７３とそれぞれ回転摺動する面である。

【０１１０】

後述するように、第二アーム部９５の第二本体９６の内周面に、第一本体９２の第一上部冠歯車９２３、第一下部冠歯車９２５とそれぞれ噛み合う一対の第一下部平歯車９８１、一対の第一上部平歯車９８２が設けられているため、本実施形態において、第一本体９２の直径は、後述する第二アーム部９５の第二本体９６の直径よりも小さい。一方、第一保護カバー９３の直径は、後述する第二アーム部９５の第二保護カバー９７の直径と同一である。そのため、ロボットアーム３００は、図１３に示すように表面に連続性を有する。

【０１１１】

［第二アーム部］

本実施形態において、第二アーム部９５は、第二本体９６と第二本体９６の外周に取り付けられる第二保護カバー９７とを有する。第二保護カバー９７は、第二本体９６に連動して回転するように構成されている。図１１（ａ）は、第二アーム部９５の模式的斜視図であって、（ａ）は第二保護カバー９７がない状態、すなわち第二本体９６のみを示しており、（ｂ）は第二保護カバー９７が取り付けられた状態を示している。

【０１１２】

図１１（ａ）に示すように、本実施形態において、第二本体９６は剛体であって、軸中心に中空部９６１を有する筒形状である。図１１（ａ）では詳細に示されていないが、第二本体９６は、軸方向の上端部９６２に、軸線に垂直な面に対して上方向に角度αで傾斜する環状の第二上部冠歯車９６３を有し、軸方向の下端部９６４に、軸線に垂直な面に対して下方向に角度αで傾斜する環状の第二下部冠歯車９６５を有する。第二本体９６の第二上部冠歯車９６３、第二下部冠歯車９６５は、後述する第二関節機構９９を構成する一対の第二下部平歯車９９１、一対の第二上部平歯車９９２とそれぞれ噛み合う歯車である。

【０１１３】

図１１（ｂ）に示すように、本実施形態において、第二保護カバー９７は剛体の筒形状である。図１１（ｂ）では詳細に示されていないが、軸方向の上端部９７２に、軸線に垂直な面に対して上方向に第二本体９６と同様の角度αで傾斜する環状の第一摺動面９７３を有し、軸方向の下端部９７４に、軸線に垂直な面に対して下方向に第二本体９６と同様の角度αで傾斜する環状の第二摺動面９７５を有する。第二保護カバー９７の第一摺動面９７３、第二摺動面９７５は、第一アーム部９１の第一保護カバー９３の第二摺動面９３

５、第一摺動面９３３とそれぞれ回転摺動する面である。

【０１１４】

後述するように、第一アーム部９１の第一本体９２の外周面に、第二本体９６の第二上部冠歯車９６３、第二下部冠歯車９６５とそれぞれ噛み合う一対の第二下部平歯車９９１、一対の第二上部平歯車９９２が設けられているため、本実施形態において、第二本体９６の直径は、第一アーム部９１の第一本体９２の直径よりも大きい。一方、上述したように、第二保護カバー９７の直径は、第一アーム部９１の第一保護カバー９３の直径と同一である。

【０１１５】

第一実施形態のロボットアーム１００と同様に、ロボットアーム３００の第一アーム部９１及び第二アーム部９５において、角度αは、ロボットアーム３００のサイズや用途等によって適宜設定することができる。なお、第一アーム部９１及び第二アーム部９５の角度αの設定や組み合わせる個数によって、ロボットアーム３００の合計回転角度（第一アーム部９１及び第二アーム部９５を完全に回転した場合のロボットアーム３００の曲げ角度）を調整することが可能であり、９０°以上の曲げを達成することも可能である。

【０１１６】

ロボットアーム３００の第一アーム部９１の第一本体９２及び第二アーム部９５の第二本体９６は、上述のように、軸中心にそれぞれ中空部９２１及び９６１を有する筒形状の剛体である。第一アーム部９１及び第二アーム部９５がそれぞれ中空部９２１及び９６１を有することにより、トルクを効率的に伝達することができるため、第一アーム部９１及び第二アーム部９５の軽量化が実現でき、もって、ロボットアーム３００全体の重量を減少させることができる。また、ロボットアーム３００全体を通して連続する中空構造が形成されるので、中空内部にケーブル等の部品を通過させることができる。

【０１１７】

ロボットアーム３００の第一アーム部９１の第一本体９２及び第二アーム部９５の第二本体９６を構成する剛体とは、水中、高圧環境、クリーンルーム、放射性環境等の外部環境がロボットアーム３００の内部に影響を与えない程度の障壁となり得る剛性を有する物体をいい、金属、プラスティック、セラミックス等を採用することができる。上記剛体は、ロボットアーム３００を使用する外部環境、各アーム部の自重や必要な回転トルク等に応じて選定すればよく、軽量化のために剛性のあるメッシュ材料であってもよい。なお、ロボットアーム３００の第一アーム部９１の第一保護カバー９３及び第二アーム部９５の第二保護カバー９７を構成する剛体としても、上述のものが使用できる。

【０１１８】

［第一関節機構］

第一関節機構９８は、複数の第一アーム部９１を連動回転させるものである。本実施形態において、第一関節機構９８は、一対の平歯車９８１及び一対の平歯車９８２により構成されている。一対の平歯車９８１及び一対の平歯車９８２は、１つの第一アーム部９１の第一本体９２とこれに最も近い第一アーム部９１の第一本体９２が同じ方向及び回転角で回転するように、２つの第一本体９２を連結している。

【０１１９】

図１１に示されるように、一対の平歯車９８１及び一対の平歯車９８２は、第二アーム部９５の第二本体９６の内周面に設けられている。一対の平歯車９８１は径方向に互いに対向するように設けられている。同様に、一対の平歯車９８２は径方向に互いに対向するように設けられている。平歯車９８１と平歯車９８２は、軸方向に隣接して設けられている。なお、一対の平歯車９８１及び一対の平歯車９８２は、第二アーム部９５の第二本体９６の内周面に設けられているため、図１１では、一対の平歯車９８１の一方及び一対の平歯車９８２の一方については、第二アーム部９５の第二本体９６の外周面に設けられるそれぞれの取り付け穴９８１’及び９８２’のみが示されている。

【０１２０】

図１１において、平歯車９８１は軸方向の下方に配置されており、これを第一下部平歯

車９８１と定義する。図１１において、平歯車９８２は軸方向の上方に配置されており、これを第一上部平歯車９８２と定義する。軸方向に隣接する第一下部平歯車９８１と第一上部平歯車９８２は互いに噛み合っている。第一下部平歯車９８１は第一アーム部９１の第一上部冠歯車９２３と噛み合うようになっており、第一上部平歯車９８２は第一アーム部９１の第一下部冠歯車９２５と噛み合うようになっている。

【０１２１】

第一関節機構９８を構成する一対の第一下部平歯車９８１、一対の第一上部平歯車９８２の動きについて、図１２の第一本体９２ａ、第二本体９６ｂ、第一本体９２ｂを用いて、具体的に説明する。

【０１２２】

例えば、第一本体９２ａが一方向（第一本体９２ａ上の矢印方向）に回転すると、第一本体９２ａの第一上部冠歯車９２３の回転を受けて、一対の第一下部平歯車９８１（図１２では不図示）が回転し、一対の第一下部平歯車９８１の回転を受けて、一対の第一上部平歯車９８２（図１２では不図示）が回転し、一対の第一上部平歯車９８２の回転を受けて、第一本体９２ｂの第一下部冠歯車９２５が回転することにより、第一本体９２ｂは第一本体９２ａと同じ方向（第一本体９２ｂ上の矢印方向）に回転する。第一本体９２ａが他方向（第一本体９２ａ上の矢印とは逆方向）に回転すると、第一本体９２ａの第一上部冠歯車９２３の回転を受けて、一対の第一下部平歯車９８１（図１２では不図示）が回転し、一対の第一下部平歯車９８１の回転を受けて、一対の第一上部平歯車９８２（図１２では不図示）が回転し、一対の第一上部平歯車９８２の回転を受けて、第一本体９２ｂの第一下部冠歯車９２５が回転することにより、第一本体９２ｂは第一本体９２ａと同じ方向（第一本体９２ｂ上の矢印とは逆方向）に回転する。

【０１２３】

［第二関節機構］

第二関節機構９９は、複数の第二アーム部９５を連動回転させるものである。本実施形態において、第二関節機構９９は、一対の平歯車９９１及び一対の平歯車９９２により構成されている。一対の平歯車９９１及び一対の平歯車９９２は、１つの第二アーム部９５とこれに最も近い第二アーム部９５が同じ方向及び回転角で回転するように、２つの第二アーム部９５を連結している。

【０１２４】

図１０に示されるように、一対の平歯車９９１及び一対の平歯車９９２は、第一アーム部９１の第一本体９２の外周面に設けられている。一対の平歯車９９１は径方向に互いに対向するように設けられている。同様に、一対の平歯車９９２は径方向に互いに対向するように設けられている。平歯車９９１と平歯車９９２は、軸方向に隣接して設けられている。なお、一対の平歯車９９１及び一対の平歯車９９２は、第一アーム部９１の第一本体９２の外周面に設けられているため、図１０では、一対の平歯車９９１の一方及び一対の平歯車９９２の一方については、第一アーム部９１の第一本体９２の内周面に設けられるそれぞれの取り付け穴９９１’及び９９２’のみが示されている。

【０１２５】

図１０において、平歯車９９１は軸方向の下方に配置されており、これを第二下部平歯車９９１と定義する。図１０において、平歯車９９２は軸方向の上方に配置されており、これを第二上部平歯車９９２と定義する。軸方向に隣接する第二下部平歯車９９１と第二上部平歯車９９２は互いに噛み合っている。第二下部平歯車９９１は第二アーム部９５の第二上部冠歯車９６３と噛み合うようになっており、第二上部平歯車９９２は第二アーム部９５の第二下部冠歯車９６５と噛み合うようになっている。

【０１２６】

第二関節機構９９を構成する一対の第二下部平歯車９９１、一対の第二上部平歯車９９２の動きについて、図１２の第二本体９６ｂ、第一本体９２ｂ、第二本体９６ｃを用いて、具体的に説明する。

【０１２７】

例えば、第二本体９６ｂが一方向（第二本体９６ｂ上の矢印方向）に回転すると、第二本体９６ｂの第二上部冠歯車９６３の回転を受けて、一対の第二下部平歯車９９１が回転し、一対の第二下部平歯車９９１の回転を受けて、一対の第二上部平歯車９９２が回転し、一対の第二上部平歯車９９２の回転を受けて、第二本体９６ｃの第二下部冠歯車９６５が回転することにより、第二本体９６ｃは第二本体９６ｂと同じ方向（第二本体９６ｃ上の矢印方向）に回転する。第二本体９６ｂが他方向（第二本体９６ｂ上の矢印とは逆方向）に回転すると、第二本体９６ｂの第二上部冠歯車９６３の回転を受けて、一対の第二下部平歯車９９１が回転し、一対の第二下部平歯車９９１の回転を受けて、一対の第二上部平歯車９９２が回転し、一対の第二上部平歯車９９２の回転を受けて、第二本体９６ｃの第二下部冠歯車９６５が回転することにより、第二本体９６ｃは第二本体９６ｂと同じ方向（第二本体９６ｃ上の矢印とは逆方向）に回転する。

【０１２８】

本実施形態の第一関節機構９８によれば、上述のように、一対の第一下部平歯車９８１及び一対の第一上部平歯車９８２により、複数の第一本体９２が順次連結されていることにより、複数の第二本体９６に対して相対的に、複数の第一本体９２すべてが連動して同じ方向及び回転角で回転する。そして、第一本体９２に連動して、第一保護カバー９３が回転する。同様に、本実施形態の第二関節機構９９によれば、上述のように、一対の第二下部平歯車９９１及び一対の第二上部平歯車９９２により、複数の第二本体９６が順次連結されていることにより、複数の第一本体９２に対して相対的に、複数の第二本体９６すべてが連動して同じ方向及び回転角で回転する。そして、第二本体９６に連動して、第二保護カバー９７が回転する。そのため、一つのアクチュエータでロボットアーム３００の曲げを制御することができる。

【０１２９】

なお、本実施形態の第一関節機構９８において、第一下部平歯車９８１及び第一上部平歯車９８２は、それぞれ一対が、すなわちそれぞれ２つが径方向に互いに対向するように設けられているが、これに限られるものではなく、複数の第一下部平歯車９８１及び複数の第一上部平歯車９８２がそれぞれ、径方向にバランスよく配置されていてもよい。同様に、本実施形態の第二関節機構９９において、第二下部平歯車９９１及び第二上部平歯車９９２は、それぞれ一対が、すなわちそれぞれ２つが径方向に互いに対向するように設けられているが、これに限られるものではなく、複数の第二下部平歯車９９１及び複数の第二上部平歯車９９２がそれぞれ、径方向にバランスよく配置されていてもよい。

【０１３０】

第一関節機構９８を構成する平歯車９８１及び９８２、並びに第二関節機構９９を構成する平歯車９９１及び９９２の材質、形状及び大きさは、噛み合わせられる第一本体９２の冠歯車９２３及び９２５、並びに第二本体９６の冠歯車９６３及び９６５の材質、形状及び太さ、ロボットアーム３００のサイズや用途に応じて適宜選択することができ、汎用品を用いてもよい。

【０１３１】

〈ロボットアームの動作〉

第一アーム部９１の第一保護カバー９３が第一本体９２に連動して回転し、第二アーム部９５の第二保護カバー９７が第二本体９６に連動して回転するため、第一保護カバー９３と第二保護カバー９７が互いに摺動回転する以外は、ロボットアーム３００は、実質的に第一実施形態のロボットアーム１００と同様に、図７に示されるように動作する。

【０１３２】

以上、本発明について図面を参照にして説明してきたが、本発明は上記実施形態に限定されず、種々の変更実施が可能である。上記実施形態では、複数の第一アーム部と、複数の第二アーム部と、複数の第一アーム部を連動回転させる複数の第一関節機構と、複数の第二アーム部を連動回転させる複数の第二関節機構とを備える構成を例に挙げて説明しているが、本発明に係るロボットアームは、少なくとも２つの第一アーム部と、少なくとも１つの第二アーム部と、２つの第一アーム部を連動回転させる第一関節機構とを備えてい

れば実現可能である。また、関節機構として、第一実施形態では２本のワイヤを、第二実施形態では２本のワイヤ及び２つのアイドルプーリを、第三実施形態では複数の平歯車を用いているが、関節機構は、複数の第二アーム部に対して、複数の第一アーム部が相対的に同じ方向及び回転角で回転するように、第一アーム部と第二アーム部を連結するものであれば上述のものに限られるものではない。
【産業上の利用可能性】
【０１３３】
　本発明のロボットアームは、構造が簡易でありながら、一つのアクチュエータでアームの曲げを制御可能であり、アーム全体の軽量化を実現可能であるので、産業用ロボットだけではなく、ヒューマノイドロボットに好適に使用することができるため、その産業上の利用可能性は大きい。　10
【符号の説明】
【０１３４】
〔第一実施形態〕
１００　ロボットアーム
　１　第一アーム部
　　１１　中空部
　　１２　上端部
　　　１２１　第一摺動面
　　　１２２　係合部　20
　　　　１２２１　凸部
　　　　１２２２　凹部
　　　　１２２３　第一上部溝
　　　　１２２５　第一ワイヤ固定部
　　　　１２２６　第二ワイヤ固定部
　　１３　下端部
　　　１３１　第二摺動面
　　　１３２　係合部
　　　　１３２１　凸部
　　　　１３２２　凹部　30
　　　　１３２３　第一下部溝
　　　　１３２５　第一ワイヤ固定部
　　　　１３２６　第二ワイヤ固定部
　　１４、１５　斜面部
　　１６ａ～１６ｄ　貫通孔
　２　第二アーム部
　　２　中空部
　　２２　上端部
　　　２２１　第一摺動面
　　　２２２　係合部　40
　　　　２２２１　凸部
　　　　２２２２　凹部
　　　　２２２３　第二上部溝
　　　　２２２５　第一ワイヤ固定部
　　　　２２２６　第二ワイヤ固定部
　　２３　下端部
　　　２３１　第二摺動面
　　　２３２　係合部
　　　　２３２１　凸部
　　　　２３２２　凹部　50

２３２３　第二下部溝
２３２５　第一ワイヤ固定部
２３２６　第二ワイヤ固定部
２４、２５　斜面部
２６ａ～２６ｄ　貫通孔
３　第一関節機構
３１　ワイヤ
３１１　第一ワイヤ
３１２　第二ワイヤ
３２　交差点
４　第二関節機構
４１　ワイヤ
４１１　第一ワイヤ
４１２　第二ワイヤ
４２　交差点
〔第二実施形態〕
２００　ロボットアーム
５　第一アーム部
５１　中空部
５２　上端部
５２１　第一摺動面
５２２３　第一上部溝
５２２５　第一ワイヤ固定部
５２２６　第二ワイヤ固定部
５３　下端部
５３１　第二摺動面
５３２３　第一下部溝
５３２５　第一ワイヤ固定部
５３２６　第二ワイヤ固定部
５４、５５　斜面部
６　第二アーム部
６１　中空部
６２　上端部
６２１　第一摺動面
６２２３　第二上部溝
６２２５　第一ワイヤ固定部
６２２６　第二ワイヤ固定部
６３　下端部
６３１　第二摺動面
６３２３　第二下部溝
６３２５　第一ワイヤ固定部
６３２６　第二ワイヤ固定部
６４、６５　斜面部
７　第一関節機構
７１　ワイヤ
７１１　第一ワイヤ
７１２　第二ワイヤ
７２　アイドルプーリ
７２１　第一アイドルプーリ
７２２　第二アイドルプーリ

10
20
30
40
50

８　第二関節機構
８１　ワイヤ
８１１　第一ワイヤ
８１２　第二ワイヤ
８２　アイドルプーリ
８２１　第一アイドルプーリ
８２２　第二アイドルプーリ
〔第三実施形態〕
３００　ロボットアーム
９１　第一アーム部
９２　第一本体
９２１　中空部
９２２　上端部
９２３　第一上部冠歯車
９２４　下端部
９２５　第一下部冠歯車
９３　第一保護カバー
９３２　上端部
９３３　第一摺動面
９３４　下端部
９３５　第二摺動面
９５　第二アーム部
９６　第二本体
９６１　中空部
９６２　上端部
９６３　第二上部冠歯車
９６４　下端部
９６５　第二下部冠歯車
９７　第二保護カバー
９７２　上端部
９７３　第一摺動面
９７４　下端部
９７５　第二摺動面
９８　第一関節機構
９８１　第一下部平歯車
９８２　第一上部平歯車
９８１’、９８２’　取り付け穴
９９　第二関節機構
９９１　第二下部平歯車
９９２　第二上部平歯車
９９１’、９９２’　取り付け穴

【図１】

【図２】

【図３】

【図４】

【図５】

【図６】

【図７】

【図８】

【図９】

【図１０】

【図１１】

【図１２】

【図１３】